Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.
Año 2021, Enero- Junio, Vol. (8) N° (1), e5500700, ISSN 2389-9484.
Universidad de La Guajira, Facultades de Ciencias Básicas y Aplicadas e Ingeniería.
La Guajira-Colombia.
Revista en Línea http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.5500700



CONTROLADOR ÓPTIMO PARA LA REGULACIÓN DE TEMPERATURA DE UN TERMOSIFÓN DE 100LT UTILIZADO EN INSTALACIONES DE ACS

OPTIMAL CONTROLLER FOR TEMPERATURE REGULATION IN A 100LT THERMOSYPHON FACILITIES USED IN HSW

Salcedo B. Andrés R.[1] y Gómez J. Gerzhel G.[2]

1Ingeniero Electrónico, MsC. Ingeniería de Control y Automatización de Procesos,
Doctor en Ciencias Mención Gerencia. andres.salcedo.bruzon@hotmail.com.
2Ingeniero Electrónico, Tecnólogo en Mantenimiento Electrónico e Instrumentación Industrial, MsC. Ingeniería de Control y Automatización de Procesos, Aspirante a Doctor en Ciencias Mención Gerencia. gerzhel@uniguajira.edu.co
Universidad Belloso Chacín- Maracaibo, Venezuela

Recibido: agosto 20 de 2020 Aceptado: diciembre 23 de 2020

RESUMEN

En la actualidad, el uso de sistemas de energías alternativas tiene un crecimiento preponderante debido a la alta contaminación y mal manejo de las energías no renovables. La base de la implementación de estos nuevos sistemas es la evaluación del rendimiento de los mismos, es así que para el caso de los colectores solares termosifón para calentamiento de agua de uso sanitario se requiere la recopilación de datos para su posterior estudio. Este artículo persigue la aplicación del método de Control Optimo en un sistema de calefacción utilizado en instalaciones de agua sanitaria, adoptado como un método de obtención de energía alternativa conocido como Termosifón modificando su punto máximo de eficiencia cuando el dispositivo se encuentra programado para modo de operación en condiciones climáticas favorables, tomando en cuenta como punto de partida el control total de las perturbaciones que directamente afectan al sistema generando pérdidas de energía para este. Esta investigación está enmarcada como tipo descriptiva, expuesta en un diseño de campo no experimental y transeccional, en el cual se utilizan herramientas de software sistematizado para modelar y simular el funcionamiento del sistema junto a el tipo de control propuesto. A lo largo del proyecto se desarrollan las fases para poder lograr cumplir cada uno de los objetivos propuestos las cuales fueron: Fase 1 Descripción del proceso y estudio de las variables que intervienen en el funcionamiento del sistema; Fase 2: Matemáticamente el proceso del termosifón; Fase 3: Diseñar el controlador óptimo propuesto para el punto máximo de eficiencia y fase 4: Evaluación y análisis de los resultados. De dicha investigación cabe resaltar la importancia en la aplicación y la implementación de la eficiencia energética y el aprovechamiento de la energía solar proveniente de factores de radiación que se generan en el remplazo de los combustibles fósiles referentes a la búsqueda de energías alternativas.

Palabras clave: Automatización, Calefacción, Eficiencia, Control Optimo, Termosifón.

ABSTRACT

At present, the use of alternative energy systems is a major growth due to high pollution and mismanagement of non-renewable energy. The basis of the implementation of these new systems is evaluating the performance of the same, so that in the case of thermosyphon solar collectors for water heating sanitary data collection for further study is required. This paper seeks to apply the method of Optimal Control in a heating system used in drinking water installations, adopted as an alternative method of obtaining energy known as Termosyphon modifying its maximum efficiency point when the device is programmed to mode of operation in favorable weather conditions, taking into account as a starting point the total control of disturbances that directly affect the system generating energy lost to this. This research is framed as descriptive, stated in no experimental design and transactional field in which systematic software tools to model and simulate the system performance with the proposed control type used. Throughout the project phases to achieve meet each of the proposed objectives which were developed:

Stage 1 description of the process and study of the variables involved in the operation of the system; Phase 2: Mathematically the process the boiler; Phase 3: Design the proposed for peak efficiency and optimal controller Phase 4: Evaluation and analysis of results. From this investigation it is worth noting the importance in the application and implementation of energy efficiency and the use of solar energy from radiation factors generated in the replacement of the reference to the search for alternative energy sources

Keyword: Automation, Optimal Control, Efficiency, Heating, Thermosyphon.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se han realizado diferentes trabajos de investigación para mejorar el uso de la energía solar. El desarrollo de sistemas que operan utilizando energía solar, ha avanzado para contrarrestar las constantes crisis de energéticos que a nivel mundial se han venido presentando, estas crisis han sido causadas por la falta de materia prima que se puede utilizar como energético a causa de los elevados costos de extracción, procesado y distribución de los mismos; La energía solar es una fuente renovable de energía que se ha usado históricamente con diferentes fines entre otros podemos mencionar como la evaporación de las aguas del mar para obtener la comúnmente conocida sal, también la exposición de frutas y productos agrícolas al sol para obtener alimentos deshidratados.

El crecimiento actual de las necesidades energéticas a nivel mundial nos conduce a la búsqueda de fuentes de energía que sirvan de alternativa a aquellas que afectan de manera directa o indirectamente los recursos vitales para nuestra supervivencia, estas energías pueden estar al alcance de todas las personas teniendo como principal característica que sean renovables y cuyos costos de generación sean relativamente aceptables además de que el impacto ambiental para su obtención sea mínimo cumpliendo con las necesidades de cada persona que requiera su uso y beneficencia de este para su mayor aprovechamiento.

Ante la propuesta de implementar sistemas de energías renovables eficientes como es el caso de colectores solares térmicos para el calentamiento de agua de uso sanitario en domicilios, se requiere obtener datos que permitan evaluar el rendimiento de estos sistemas además de la necesidad de contar con sistemas automatizados y de monitoreo para su óptimo funcionamiento.

En los siguientes capítulos de este trabajo se encuentra plasmada una descripción teórica sobre el funcionamiento de un Termosifón de 100 lt utilizado en instalaciones de agua caliente sanitaria, el análisis de la forma en cómo opera el sistema y cada una de las partes que lo componen en presencia de condiciones adecuadas para luego introducirnos en la investigación de cómo controlar el dispositivo de la mejor manera posible ejerciendo un control sobre la temperatura para la regulación de la eficiencia tomando en cuenta la disminución más alta posible de los factores que por acción directa a los cambios climáticos como la radiación solar, la humedad, la temperatura y el flujo los cuales son factores principales de trabajo del sistema de termosifón generan perturbaciones al dispositivo, todas estas investigaciones serán tanto modeladas como validadas operado bajo las distintas perturbaciones que se irán planteando y descubriendo a lo largo de la investigación.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DEL TERMOSIFÓN DE 100 LT UTILIZADO EN INSTALACIONES DE ACS.

El objetivo principal de un sistema de termosifón consiste en transformar la energía solar proveniente de la radiación en energía térmica destinada a la modificación de la temperatura de un sistema de agua caliente sanitaria para sus diferentes usos. Un sistema de termosifón utiliza la radiación solar para calentar el líquido conectándose al sistema de suministro en una casa supliendo todas las necesidades de agua caliente, caso tal que sea otra acción como las industriales el proceso como tal posee las mismas características del esquema mostrado a continuación en la Figura 1.

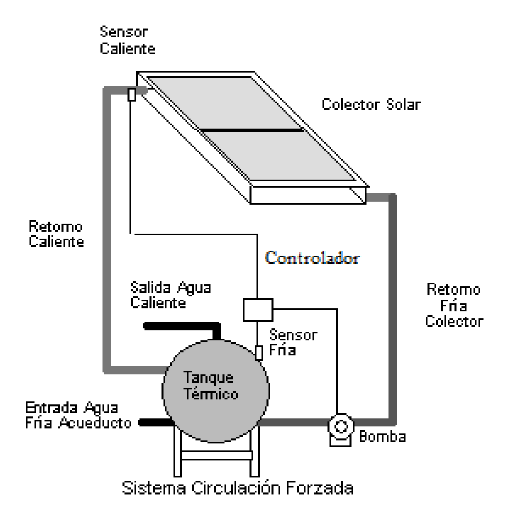


Figura 1. Esquema del proceso de Termosifon. Fuente propia

El sistema de calefacción solar por termosifón aunque simple y sencillo que parezca posee varios componentes que hacen interesante el proceso como tal, éste consta de placa absorbedora de radiación solar, un tanque de almacenamiento, un control del calentador panel en el cual ejercemos la acción de control, una bomba, un intercambiador de calor y sus unidades de tuberías respectivas.

2.. ANALISIS DE ENERGIA TERMICA Y RENDIMIENTO

Para el desarrollo del análisis de la energía térmica y el rendimiento del sistema tomamos como base el trabajo desarrollado por R. Saidur en 2011, se trata del desarrollo de gráficas para el trabajo en sistemas de termosifón del modelo transitorio de la irradiancia en la figura. 2 y la eficiencia dependiendo del tipo de colector en la figura. 3. que se dan a lo largo del día.

El clima incidente en el colector solar influye sobre las diferencias entre el clima generado en el interior y el clima exterior, entre ambos producen fenómenos relacionados con el intercambio de flujo energético los cuales definen tanto el comportamiento térmico como el ambiental en general del mismo. Cada uno de los elementos del sistema causa un

filtrado del clima exterior hacia el interior del termosifón, el cual se traduce en una respuesta térmica global determinando efectos sobre un clima interior distinto.

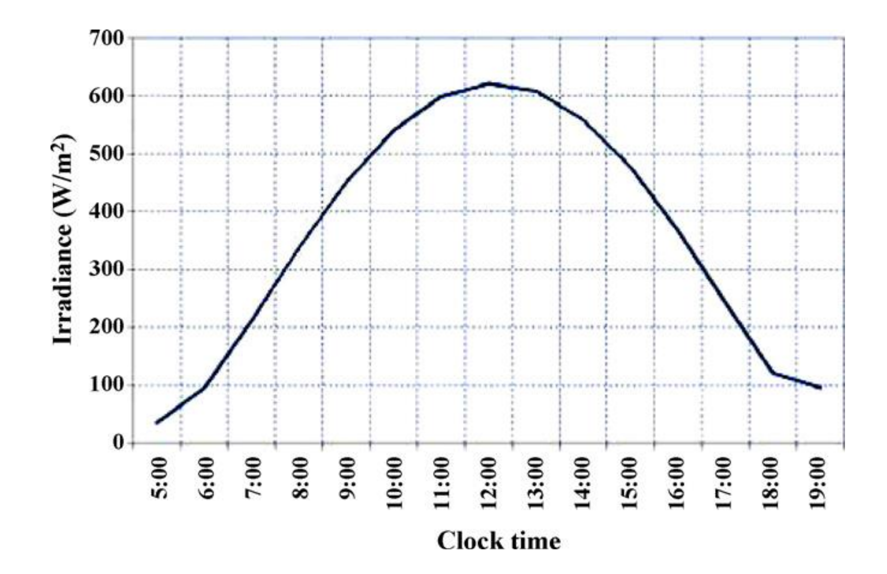


Figura 2. Irradiancia diaria. Fuente Saidur (2011)

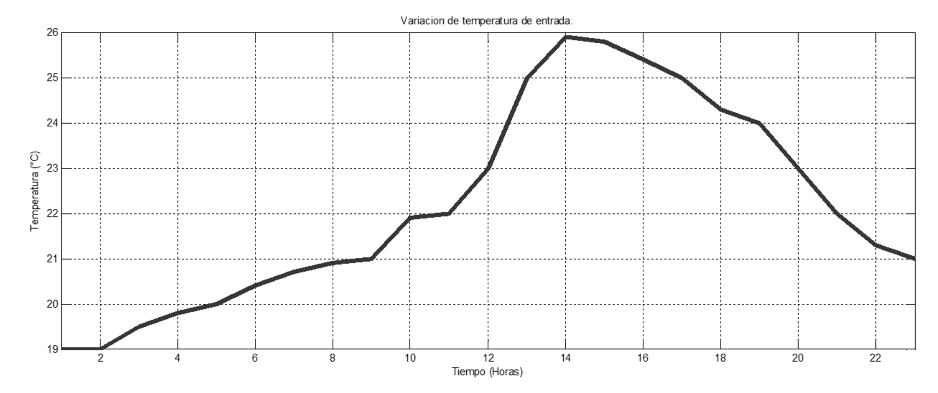


Figura 3. Variación de temperatura en la entrada de agua al sistema. Fuente propia.

En la Figura 3 se puede ver la variación de temperatura en la entrada de agua obtenida mediante la data que emite el dispositivo con respecto al tiempo durante el día, usando muestras tomadas cada 10 minutos podemos ver un máximo de temperatura de 26° C en un día con condiciones climatológicas normales a la zona y estación en la que nos encontramos, mientras que en la Figura 4, se muestra la temperatura ambiente a la que es sometida mediante la radiación de calor el agua que entra al sistema con un punto máximo de temperatura ambiente de 33°C . Mientras que el sensor ubicado para determinar la temperatura de salida del agua arroja la gráfica correspondiente con la figura 5, mostrando un comportamiento del sistema bastante lógico mediante el accionar y el aprovechamiento del sistema de calefacción solar.

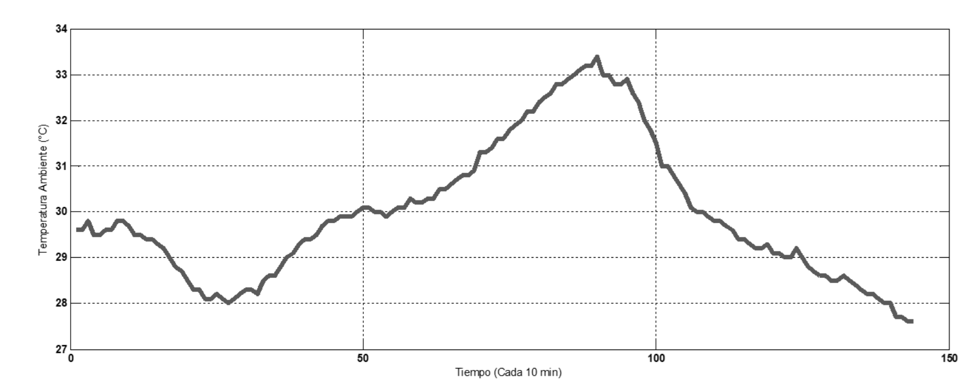


Figura 4. Variación de temperatura de ambiente. Fuente propia.

En el análisis de la data correspondiente a la temperatura de entrada y la temperatura de salida del agua tenemos como resultado una diferencia correspondiente a un incremento de la temperatura dada como se muestra en la tabla 1.

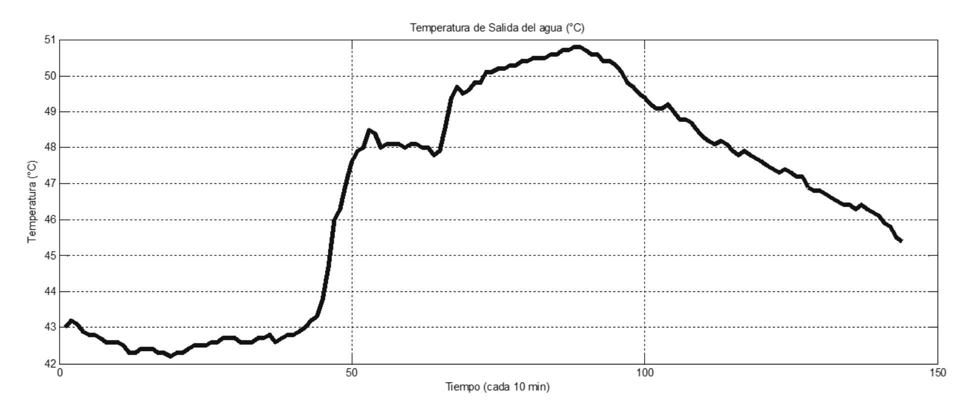


Figura 5. Temperatura de salida del agua. Fuente propia.

Tabla 1. Diferencial de temperaturas. Fuente propia.

Tin(°C)	Tout(°C)	Diferencial
24,9	51,4	26,5
25	51	26
25,2	51	25,8
25,4	50,8	25,4
25,7	50,8	25,1
26	50,9	24,9
25,9	50,6	24,7
25,9	50,4	24,5
25,8	50	24,2
25,3	49,8	24,5
25	49,5	24,5
24,9	49	24,1
24,6	49	24,4
24,3	48,8	24,5

La eficiencia de un colector se define como la relación de la cantidad de energía transferida desde el colector hasta el medio de transferencia de calor la energía radiante incidente sobre el colector. El clima de un lugar está provocado por una serie de factores naturales. Son determinantes los factores geográficos como la latitud y altitud, pero también influyen seriamente los condicionales del microclima, como la topografía que determina incidencia de los vientos, la cercanía al mar, los fenómenos climáticos urbanos asi como también la vegetación.

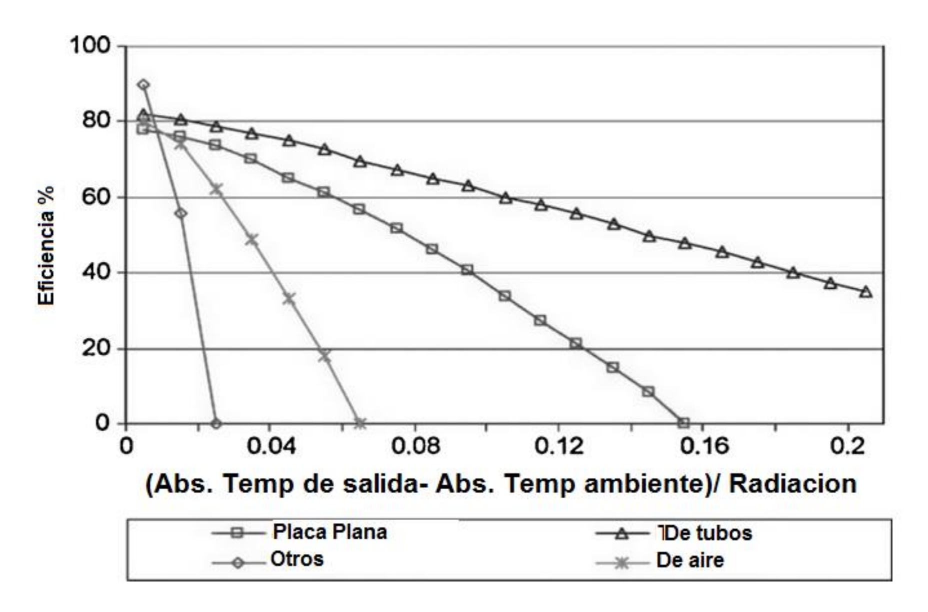


Figura 6. Eficiencia según el tipo de colector. Fuente Saidur (2011)

En la Figura 6 tomando en cuenta lo anterior se presenta una gráfica que relaciona la eficiencia que ofrecen los distintos tipos de colectores solares obteniendo como resultado el uso del colector que disponemos en nuestra investigación presentando data con respecto al ciclo de radiación, no solo en cuento al intervalo del ciclo diario en que se presentan sino además en la velocidad a la cual se manifiestan estos procesos variando según el fenómeno físico involucrado.

Así, los fenómenos que involucran ganancias térmicas por radiación solar directa son de respuesta rápida, igualmente los concernientes al movimiento del aire. Esto significa que las estrategias de control se deben plantear simultáneamente a varias escalas de tiempo, aun para el mismo sistema.

3. ECUACIONES DEL MODELO MATEMATICO

Luego de la descripción del proceso de funcionamiento y la descripción de las variables que intervienen en el proceso procedemos por medio de las metodologías basadas en teorías aceptadas de la ciencia fundamental para obtener las ecuaciones que rigen el sistema, las cuales fueron tomadas de la investigación realizada por Bunas J (2013), ésta fase abarca la obtención del modelo matemático que representa la regulación de la temperatura en el termosifón de 100Lt utilizado en instalaciones de agua caliente sanitaria.

Las ecuaciones que determinan el sistema están determinadas por cada uno de los componentes de esta, empezando por el colector el cual según el análisis es determinado por:

$$\frac{dT_{co}}{dt}=\frac{A_c n_0}{C} I_c-\frac{U_L A_c}{C}(T_{av}-T_{ca})+\frac{v_c}{V_c}(T_{ci}-T_{co}) \quad (1)$$

Donde n0 es la eficiencia óptica del colector y C= pcCcVc está dado por la capacidad general de calor de líquido en el colector, que incluye densidad, calor específico y volumen en el colector, mientras que el promedio de temperatura está dada por:

$$T_{av}=\frac{T_{ci}+T_{co}}{2} \quad (2)$$

Por otra parte en el intercambiador de calor tenemos en el circuito primario es decir el lado caliente tenemos que:

$$\frac{dT_{hho}}{dT}=\frac{p_c C_c v_c}{C_{h1}+p_c C_c V}(T_{hhi}-T_{hho})-\frac{Ak}{C_{h1}+p_c C_c V}(T_{hho}-T_{hco})-\frac{A_a k_a/2}{C_{h1}+p_c C_c V}(T_{hav}-T_{ha}) \quad (3)$$

Mientras que en el lado Frio tenemos:

$$\frac{dT_{hco}}{dT}=\frac{p_s C_s v_s}{C_{h2}+p_s V}(T_{hci}-T_{hco})-\frac{Ak}{C_{h2}+p_s C_s V}(T_{hho}-T_{hco})-\frac{A_a k_a/2}{C_{h2}+p_s C_s V}(T_{hav}-T_{ha}) \quad (4)$$

Para el intercambiador de calor el promedio de temperatura está dada por:

$$T_{hav}=\frac{T_{hho}+T_{hco}}{2} \quad (5)$$

Otros parámetros del modelo son la transferencia de calor entre las dos partes del intercambiador de calor está dado por A, el coeficiente de transferencia de calor entre las dos partes del intercambiador de calor K, la superficie exterior del intercambiador de calor Aa, el coeficiente de transferencia de calor entre el calor intercambiador y el ka que simboliza el ambiente.

Para el tanque de almacenamiento rigen las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dT_s}{dT}=\frac{v_1}{V_s}(T_d-T_s)+\frac{v_s}{V_s}(T_{hco}-T_s)-\frac{A_s k_s}{p_s c_s V_s}(T_s-T_{sa}) \quad (6)$$

Aplicando el método de la transformada de Laplace se determinó la función de transferencia del colector. En la ecuación (1) puede ser considerado como lineal y el rango del fluido del colector es asumido como Vc es constante.

$$t_c=\frac{1}{\frac{U_L A_c}{2C_c}+\frac{v_c}{V_c}} \quad (7)$$

Considerando que la ecuación del colector es lineal a causa de que se asumió un porcentaje de flujo constante podemos usar el principio de superposición, de acuerdo con este principio la respuesta de la variable de salida causa que las variables de entrada puedan ser calculadas como la suma de las respuestas individuales causadas por entradas individuales. En la determinación de la función de transferencia de las variables individual es el valor inicial de salida de la temperatura del colector esta está dado por Tco(0)=0.

Planteadas las anteriores ecuaciones procedemos a calcular matemáticamente la función de transferencia del colector con respecto a cada uno de los factores que perturban el proceso dando como resultado:

$$W_1(S)=\frac{T_{co}(s)}{I_c(s)}=\frac{(T_c A_c n_0)/C_c}{t_s+1} \qquad (8)$$

La ecuación (9) da como resultado la función de transferencia del colector con respecto a la irradiancia que ejerce en el colector.

$$W_2(S)=\frac{T_{co}(s)}{T_{ci}(s)}=\frac{t_c}{t_s+1}\left(\frac{v_c}{V_c}-\frac{U_l A_c}{2C_c}\right) \qquad (9)$$

La ecuación (10) da como resultado la función de transferencia en el colector con la temperatura de entrada del agua.

$$W_3(S)=\frac{T_{co}(s)}{T_{ca}(s)}=\frac{(t_c A_c U_L)/C_c}{t_s+1} \qquad (10)$$

La ecuación (11) corresponde a la función de transferencia respecto a la temperatura ambiente. Finalmente el efecto del valor inicial de la temperatura en la salida del colector Tco(0) también puede ser determinado por:

$$W_0(S)=\frac{t_c}{t_s+1} \qquad (11)$$

De acuerdo con el principio de superposición, la agregación de las funciones de transferencias definidas de las ecuaciones (tanto – tanto) otorgan una función de transferencia que individualmente causan efectos en la salida final del proceso.
La ecuación (12) da como resultado la trasferencia de temperatura en la salida del colector está dada por:

$$T_{co}(s)=W_0(s)T_{co}(0)+W_1(s)I_c(s)+W_2(s)T_{ci}(s)+W_3(s)T_{ca}(s) \qquad (12)$$

Basado en las ecuaciones (1) y (2) tenemos el modelado del colector de la siguiente manera:

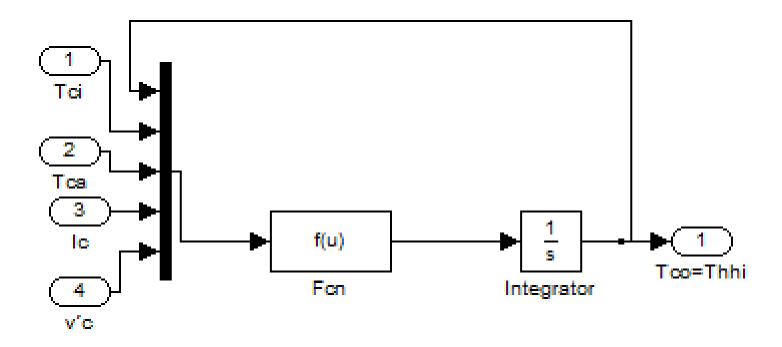


Figura 7. Esquema simulado del colector. Fuente propia.

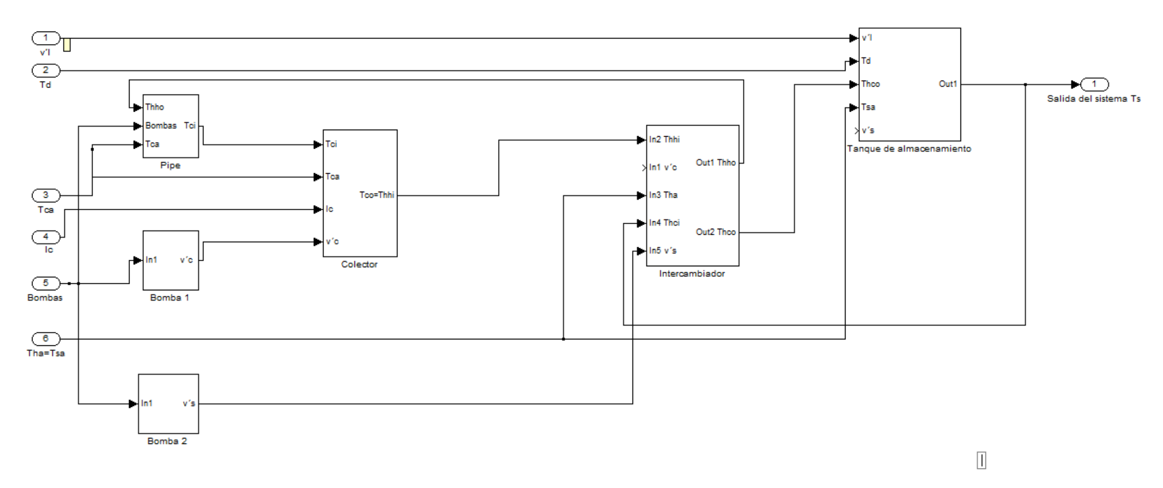


Figura 8. Modelado completo en Simulink del sistema de termosifón. Fuente propia

4. MODELADO DEL SISTEMA DEL TERMOSIFON

Es importante resaltar también que el accionar del flujo de agua hacia el colector es manipulado por un controlador que efectúa la acción de control de acuerdo a la programación que el fabricante realice. Por ende según la temperatura del agua sensada a la salida del colector la tarjeta recibe una señal que acciona la bomba.

Para determinar el modelo matemático de la bomba tomamos en cuenta la hoja de datos del fabricante especificando que el caudal máximo de entrega de esta es de 2,4gpm (9.0L/min), basándonos en la investigación realizada por Cadenas (2011) denotamos que es una sistema de acuerdo a las necesidades que el termosifón nos requiere. De la gráfica de rendimiento de la bomba se tiene la información suficiente para tomar como respuesta un sistema de segundo orden en el cual se define un valor de sobre-pico máximo, factor de amortiguamiento y frecuencia natural de: $M_p=0.0219=2,19\%$, $\varepsilon=0.7723$ y $\omega_n= 0.0319$.

Todo esto sustituido en la ecuación característica para este tipo de sistemas nos relaciona a la ecuación:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2+2\varepsilon\omega_n s+\omega_n^2} = \frac{0.001018}{s^2+0.04927+0.001018} \qquad (13)$$

La respuesta al escalón unitario está dada por:

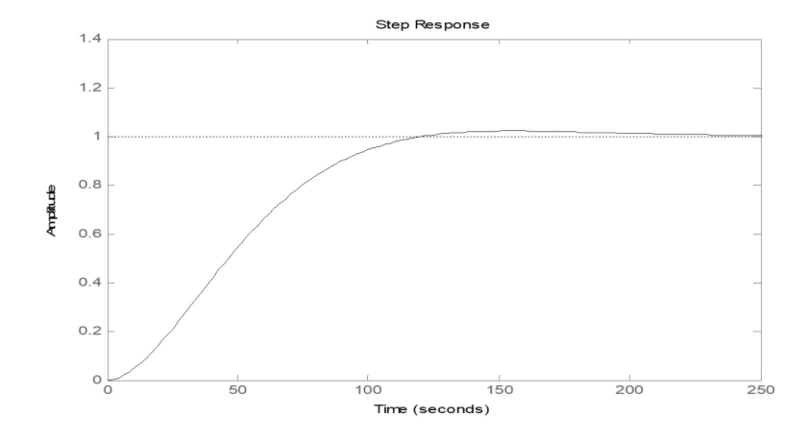


Figura 9. Respuesta del sistema al escalón unitario. Fuente propia.

Ya obtenida la función en tiempo continuo se convierte en discreto para así poder lograr el diseño al cual se le aplicara el control óptimo para ello la función de transferencia arrojada es la siguiente:

```
num=[0.001018];
>> den=[1 0.04927 0.001018];
>> sis=tf(num,den)
>> step (sis)
>> sys=c2d(sis,15,'zoh')

sys =

0.08921 z + 0.06967
----------------------
z^2 - 1.319 z + 0.4776
```

5. DISEÑO DEL CONTROL ÓPTIMO.

Después de haber definido en las etapas iníciales completamente la descripción del proceso, selección de variables y el modelado matemático del sistema se procede a realizar el estudio con la estrategia de control implementada sobre el modelo del sistema buscando la mejora de la respuesta a la salida de la temperatura del sistema datos experimentales, y los datos obtenidos mediante la estimación del modelo, según lo expresado por Ljung (2004) , con el fin de encontrar la mejor estrategia de control la cual preste mejor rendimiento en la variación de temperatura se desarrolla el siguiente esquema de control para el correcto funcionamiento del sistema.
Una vez obtenida la función de transferencia en el dominio z se procede a diseñar el controlador óptimo para el sistema de regulación de temperatura aplicado al termosifón de 100Lt utilizado en instalaciones de agua caliente sanitaria, se utiliza el comando tf2ss de MatLab para convertir la función de transferencia de nuestro sistema en una representación de espacio de estados.

```
A =
1.0000        0        0
0.9990   0.0503   -0.0071
0   0.0071        0
B =
1
1
0
C =

0        0  141.2000
D =
0ç
```

Se comprueba la controlabilidad, observabilidad y estabilidad del sistema. En la controlabilidad se utiliza el comando ctrb de MatLab, para luego comparar el rango de la matriz resultante con el de la matriz A, si estos dos son iguales entonces el sistema es completamente controlable.

```
>> rank (A)
ans =
```

```
3
>> co=ctrb(A,B);
>> rank (co)
ans =
 2
```

Como puedo ser visto el comando rank nos permite conocer el rango de una matriz, como los rangos son iguales entonces el sistema es de estado completamente controlable, mientras que para la observabilidad se utiliza con el fin de comparar el rango de la matriz observada con la matriz A; como estos dos son iguales entonces el sistema es observable.

```
>> ob=obsv(A,C);
>> rank (ob)
ans =
 3
```

Ya comparados el sistema es observable, se procede a analizar la estabilidad del sistema mediante el comando isstable; si este comando arroja un resultado igual a 1 el sistema es estable de lo contrario y lo esperado por el análisis del sistema es que sea inestable ya que corresponde a variaciones que influyen directamente en la temperatura de este.

```
>> isstable(sys)
ans =
1
```

Para la implementación de la estrategia de control optimo por investigación y documentación teórica se deduce que la mejor forma de implementar es un–Control PI Optimo cuyos valores pueden ser calculados mediante una ley de control optima de realimentación de variables de estado y una ley de control optima del integrador, para esto se tiene en cuenta la teoría de control óptimo para la regulación descrita por Aboukheir (2006).

Las ecuaciones de espacio de estado están dadas por:

$$x(k+1)=Gx(k)+Hu(k) \quad (14)$$
$$y(k)=Cx(k) \quad (15)$$

Surge un nuevo arreglo de matrices el cual es implementado en la ecuación de Ricatti aplicada en la herramienta de MatLab.

```
>> [L,P,E]=dlqr(G,E,eye,1)
```

La cual está definida por L como ley de control, P como la solución de la ecuación de Ricatti y E los autovalores de P los cuales arrojan los siguientes:

$$L=[0.1196 \quad 1.1347 \quad -0.6192 \quad -0.316]$$

Por otra parte también se menciona el rechazo a perturbaciones o PI optimo la cual viene dada por las ecuaciones (16) y (17) que determinaran los parámetros para el controlador:

$$L_R=[L_1..L_{(n-1)}] \quad (16)$$
$$L_i=〖-L〗_n \quad (17)$$

Donde:
Lr= [0.1196 1.1347 -0.6192]
Li= [0.3165]

Una vez realizado los cálculos se sustituyen en el modelo desarrollado de Simulink con la herramienta de MatLab como podemos ver en la figura.

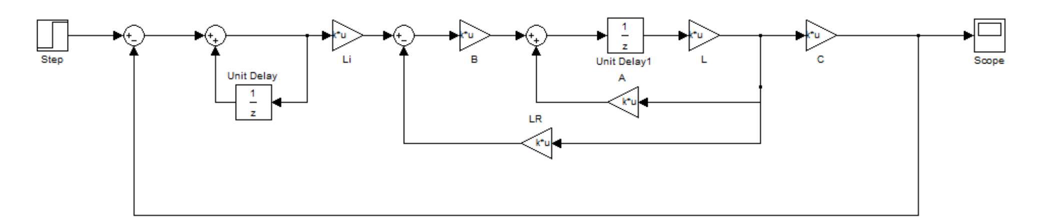


Figura 10. Modelado en Simulink del Sistema controlado. Fuente propia.

Como se demostró en la figura 11 la respuesta del sistema de control PI optimo se puede evidenciar el alcance del valor de estabilización, para todo esto es necesario modificar la temperatura, por naturaleza, es una variable a la cual el sistema responde lentamente y el valor de la temperatura deseada va ser alcanzado de una manera progresiva dentro del rango de tiempo determinado. Debido a esto no debemos asumir el comportamiento como se observa en la gráfica en un solo instante de tiempo, logrando cumplir con la acción proporcional-integral.

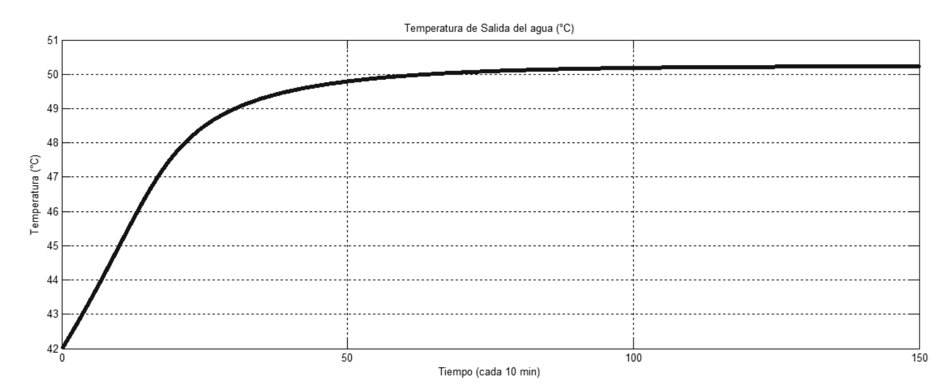


Figura 11. Respuesta del Sistema con Control PI óptimo. Fuente propia.

II RESULTADOS

En el orden de ideas de cumplir con la última fase planteada en cuanto a la investigación precede al proceso de regulación de la temperatura de un termosifón de 100 litros utilizado en instalaciones de agua caliente sanitaria aplicando la estrategia de control optimo, retomamos la identificación del diseño de control realizado mediante Simulink.
Con la respuesta obtenida se siguieron haciendo estimaciones a las respuesta obtenida en el sistema obteniendo una temperatura de estabilización que torna alrededor de los 50° C aumentando en si considerablemente 30°C la temperatura con la que entra el agua en una hora más o menos correspondiente a las 11:00 am consecuente con la incidencia de radiación solar presente para la zona de incidencia climatológica. Cabe destacar dentro del marco explicativo que la respuesta obtenida en el momento de la simulación corresponde a una estabilización de la data suministrada un día de condiciones climáticas que rodean una temperatura de los 33°C.

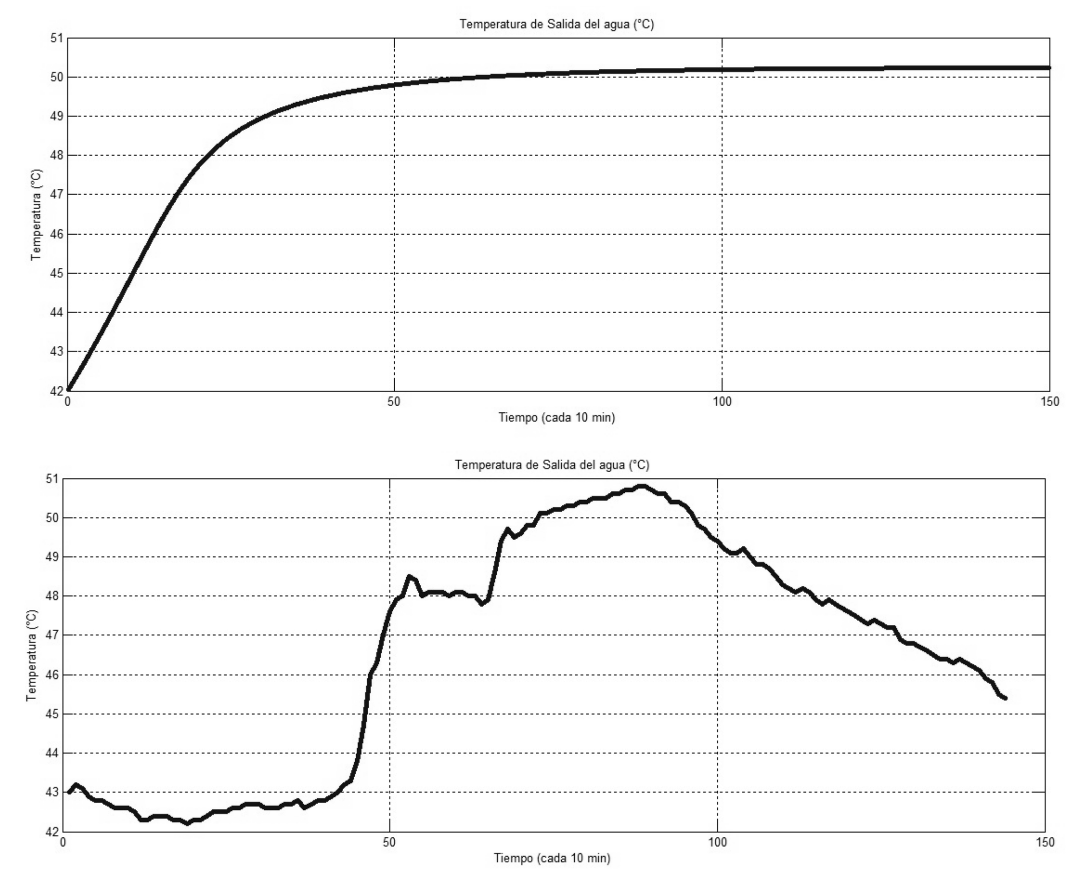


Figura 12. Temperatura de salida del agua. Fuente propia.

Tomando en cuenta las hojas de cálculo empleadas por Eusebio Ponce Garcia, en las cuales se explica el uso y consumo de la energía necesaria en instalaciones de ACS mostramos a continuación:

Tabla 2. Cálculo consumo diario de ACS. Fuente: Salcedo 2014

Consumo diario ACS					
Vivienda Unifamilar		30 (Lt /dia) Por persona		Total	100Lt
	T AC	50° C	**Energia Util**		5,24 kWh
	T AF	15°	**Energia final consumida**		8.31kWh
	n	70%			

Como se puede observar en la tabla 2 el sistema consume una energía útil de 5,24 kWh aplicado a una vivienda unifamiliar de 3 personas suficiente para el suministro de agua caliente sanitaria. Todo esto ligado a la entrega que realizan las bombas del sistema con respecto a la acción que tome el controlador dada de un caudal de 10 L/h mostrado en la tabla 3, adicionando en la tabla 4 el tiempo estimado de calentamiento con respecto al efecto de calentamiento.

Tabla 3. Tabla calculo caudal Maximo de entrega. Fuente: Salcedo 2014

Caudal Maximo					
Potencia del Generador	24,4 kW				
Temperatura agua fría	15°c	**Salto Térmico**			35°C
Temperatura de consumo ACS	50°C	**Caudal Maximo entregado**			10 L/min

Tabla 4. Calculo de tiempo de calentamiento. Fuente: Salcedo 2014

Calculo de tiempo de calentamiento					
Potencia entregada	8,31	**Volumen**		100Lt	
Temperatura agua fría	15°C	**Tiempo de cal.**		29,4 min	
Temperatura de consumo ACS	50°C				

La diferencia de temperaturas presentada en la figura 12 denota la acción de control empleada mejorando la estabilidad de una variable compleja como es la temperatura aplicada a este tipo de sistema, en el cual a la respuesta demuestra cómo se mantiene la acción de control, aun sabiendo que esta tiene a bajar por las noches la temperatura se mantiene estable mediante el proceso de circulación natural por las corrientes de agua.

III. CONCLUSIÓN

El proceso de la regulación de la temperatura tiende a ser diferente dependiendo a cada una de las variables que se utilicen y traten de controlar tanto como el tipo de sistemas que se empleen, en este no es la excepción, controlar rápidamente la temperatura de un sistema de termosifón para lograr estabilizarla lleva un tiempo bastante prudente, pero dado a que se mantiene una estabilidad en el proceso los picos bajos de temperatura en cuanto corresponden a una disminución de un 40% de la alcanzada mediante las simulaciones no se presentaran más en el sistema, cabe anotar que el sistema estaría actuando con respecto a las variaciones que posteriormente se estén presentando pues el tiempo de simulación corresponde a 24 horas.

La aplicación de los criterios que ejercen controlabilidad y observabilidad nos ayudan a establecer que tan factible es la aplicación de una estrategia de control aplicable al modelo matemático establecido.
El funcionamiento del intercambiador de calor que posee el sistema puede ser modelado matemáticamente pero su simulación gráfica estaría expuesta a las leyes termodinámica que lo rigen entorpeciendo el proceso de control óptimo que se empleó, por lo cual no se tomó muy en cuenta.

Dentro de los parámetros establecidos y cálculos hechos para la obtención de la temperatura adecuada se concluye que las variables meteorológicas que mayormente intervienen en la parte térmica del proceso dependientemente influyen en la obtención de un buen resultado al aplicar la estrategia de control.
La comparación de los resultados de la simulación y los datos medidos demostró que los modelos desarrollados son apropiados para la descripción de la variable en el tiempo, mientras que los procesos de transferencia de masa y calor en componentes de sistemas

solares térmicos con trabajo líquido presentan más complejidad en la simulación orientada a bloques para completar los modelos, pero vincularlos son buenos para la simulación térmica de todo el sistema.

Con la obtención de la función de transferencia por medio del modelo matemático presentado como comportamiento del sistema mediante la herramienta de MatLab, podemos lograr las curvas características donde se manifiestan las reacciones del dispositivo estudiado, todo presentado bajo las condiciones iníciales en que trabaja, aplicando la estrategia de control llegando a la cercanía del valor que queremos llegar.

IV REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alfaro, V. (2002). Metodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores. Revista de Ingeniería, Vol. 12, No 1, Pp. 21-36.

Barbaresco, De P. 2006. Las técnicas de la investigación. Manual para la elaboración de tesis, monografias, informes. Illinois. Scott Foresman and company. Estado Unidos

Chavez, N. 2002. Introducción a la investigación Educativa.Caracas- Venezuela. Editorial A.R.S Gráficas. Tercera edición.

Desineni, N. 2003. Optimal Control System. Idaho-USA. Idaho State University.

Díaz, M. 2013. Sistema de control optimo basado en data meteorológica par la regulación térmica de edificaciones. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Decanato de Investigación y Postgrado, Maestría en Ing. de Control y Automatización de Procesos, Maracaibo

Dorf, R 19933. Modern Control System. Addison.Wsley. p2. Sexta edición.

Hernández, R; Fernández, C; Batista, P. 2003. Metodología de la investigación. Mexico. McGraw-Hill. Cuarta edición

Katsuhiko Ogata. Sistemas de Control en Tiempo Discreto, Segunda Edición, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A, Atlacomulco, ISBN: 0-13-034281-5.

Mathworks Matlab, 2009. http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/helpdesk.html.

Mejía, M. 2013. Sistema de control óptimo de la presión de vapor en una caldera acuotubular Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Decanato de Investigación y Postgrado, Maestría en Ing. de Control y Automatización de Procesos, Maracaibo

Mujica, J. (2011). Optimización del rendimiento para la velocidad de los motores Brushless utilizando lógica difusa. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Decanato de Investigación y Postgrado, Maestría en Ing. de Control y Automatización de Procesos, Maracaibo

Ljung, L. (1994). Modeling of dynamic systems. USA. Prentice Hall, Inc.

Mamdani, E. & Assilian, S. (1975). An experiment with in linguistic synthesis with a Fuzzy Logic Controller. Man-Machine Studies, Vol. 7, Pp. 1-13.

Vásquez, E. 2013. Control óptimo para el sistema de flujo de entrada de cloruro de hidrogeno y oxigeno del reactor de oxiclorinicacion r-201. Universidad Dr. Rafael Belloso Chacín, Decanato de Investigación y Postgrado, Maestría en Ing. de Control y Automatización de Procesos, Maracaibo